

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

P.22 Agenda

P.24 Homo sapiens informaticus

P.26 Cabinet de curiosités
sociologiques

GÉOPHYSIQUE

ESTIMER LA MASSE DE LA TERRE AVEC LES NEUTRINOS ATMOSPHÉRIQUES

Sous l'infrastructure de surface, les détecteurs de l'expérience *IceCube* plongent à plus de un kilomètre dans la glace du pôle Sud. Ils ne captent pas directement les neutrinos, mais la lumière produite par le passage de particules chargées, elles-mêmes émises lorsqu'un neutrino interagit avec la matière.



Des physiciens espagnols ont montré qu'il est possible de sonder la structure interne de la Terre au moyen des neutrinos produits dans l'atmosphère.

Les ondes sismiques ont été jusqu'ici le principal outil des géophysiciens pour étudier la structure interne de la Terre. Notamment, la vitesse de propagation de ces ondes dépend de la densité des matériaux qu'ils traversent. Les données sismiques permettent par exemple de déterminer la taille du noyau, du manteau et de la croûte terrestres. Andrea Donini et ses collègues, de l'université de Valence, en Espagne, ont expérimenté une autre méthode, fondée sur les neutrinos – particules qui interagissent très peu avec la matière –, pour

sonder l'intérieur de la planète. En exploitant les données de l'expérience *IceCube*, installée au pôle Sud et principalement dédiée à l'étude du ciel au moyen des neutrinos, les chercheurs ont fait la démonstration que cette méthode sera, d'ici à une dizaine d'années, en mesure d'estimer certaines caractéristiques de la Terre.

L'idée d'utiliser des neutrinos pour sonder l'intérieur de la Terre avait été proposée dès les années 1970. Il existe plusieurs façons d'exploiter à cette fin les neutrinos, selon leur origine. Dans les années 1980, les physiciens Sheldon Glashow, Lawrence Krauss et David

Schramm avaient proposé de détecter les neutrinos de faible énergie émis par la radioactivité naturelle du manteau et de la croûte terrestre. L'idée a été mise en application ces dernières années par les expériences *Borexino*, en Italie, et *KamLAND*, au Japon.

En 2008, Concha González-García, de l'université de Barcelone, et ses collègues ont proposé d'utiliser d'autres neutrinos : ceux produits par les rayons cosmiques qui bombardent en permanence la haute atmosphère terrestre. Lorsqu'une de ces particules de très haute énergie percute une molécule de l'atmosphère, de nombreuses particules sont produites, dont des neutrinos dits atmosphériques. Ceux qui se dirigent vers le sol pénètrent dans la planète et, le plus souvent, la traversent. Les détecteurs de l'expérience *IceCube* captent

une infime fraction de ces neutrinos, dont les physiciens sont capables d'estimer l'énergie et la direction d'origine.

Or de ces grandeurs dépend ce qui advient à un neutrino produit dans l'atmosphère. En effet, la probabilité d'interaction d'un neutrino avec la matière, très faible en général, dépend de son énergie. Par exemple, les neutrinos de très haute énergie ont une plus grande chance d'interagir, donc d'être arrêtés quelque part dans le manteau terrestre. Le flux des neutrinos d'énergie supérieure à 10 000 gigaélectronvolts s'en trouve sensiblement réduit. À l'inverse, pour des neutrinos de plus basse énergie, de moins de 1 000 gigaélectronvolts, le flux n'est pas perturbé.

Il faut ensuite considérer la géométrie et la composition de la Terre. Un neutrino formé exactement à l'antipode d'*IceCube* aurait un parcours particulièrement long dans le globe et traverserait aussi le noyau très dense, et aurait donc plus de chances d'être absorbé qu'un neutrino arrivant en biais, dont le trajet au sein de la Terre est plus court et ne passe pas nécessairement par le noyau.

À partir des données enregistrées par *IceCube* entre 2011 et 2012, les trois chercheurs ont déterminé le flux de neutrinos détectés en fonction de leur énergie et de l'angle d'incidence. Grâce à ces mesures et en se fondant sur un modèle simplifié de la structure de la Terre, qui représente celle-ci comme un oignon à cinq couches, chacune de densité constante, ils ont estimé la densité de chaque couche. Cela leur a permis de calculer la masse de la Terre ($6,0 \times 10^{24}$ kilogrammes), celle du noyau ou le moment d'inertie de la planète. Les résultats sont en accord avec les valeurs établies par d'autres méthodes, si ce n'est que les incertitudes des mesures par cette nouvelle approche sont encore très grandes (supérieures à 20%).

Andrea Donini et ses collègues ont ainsi fait la démonstration du bien-fondé de cette méthode pour étudier l'intérieur de la Terre. Ils espèrent déterminer par exemple la position de la frontière entre le noyau et le manteau. Pour réduire les incertitudes sur les mesures, il sera néanmoins indispensable d'accumuler bien plus de données, l'équivalent de 10 à 15 ans de relevés sur *IceCube* et sur le projet en cours de construction en mer Méditerranée, *KM3NeT*. ■

SEAN BAILLY

A. Donini et al., *Nature Physics*, en ligne le 5 novembre 2018

Bio : une influence sur les risques de cancers ?

Les aliments issus de l'agriculture biologique seraient meilleurs pour la santé. Mais les données requises pour étayer scientifiquement cette affirmation sont encore peu nombreuses. Une étude récente en apporte. Julia Baudry, qui y a participé, nous explique les difficultés et les premiers résultats obtenus.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

JULIA BAUDRY
est épidémiologiste
à l'université Paris 13.

Le lien entre la consommation d'aliments bio et cancer a-t-il déjà été étudié ?

Concernant le lien direct entre cancer et consommation de produits bio, il n'existait qu'une étude d'une équipe anglaise, menée en 2014 auprès de 600 000 femmes sur une durée de 9 ans, donc de grande puissance statistique. Cette étude n'a pas noté d'association significative entre la consommation d'aliments bio et le risque de cancer, tous types confondus. Néanmoins, elle a rapporté une diminution du risque de lymphome non hodgkinien chez les femmes déclarant consommer plus fréquemment du bio.

Qu'en est-il de votre étude ?

Notre analyse a porté sur un échantillon d'environ 70 000 personnes (78 % de femmes, âge moyen 44 ans) de la cohorte française NutriNet-Santé sur une durée d'environ 4,5 ans.

Nous avons utilisé une mesure de la consommation de produits bio plus fine que l'étude anglaise, bien que non quantitative. Les participants renseignaient l'étude via un questionnaire de fréquence de consommation (« jamais », « de temps en temps », « la plupart du temps ») pour 16 groupes alimentaires (fruits, légumes, produits à base de soja, etc.). Nous avons ensuite divisé la population en 4 groupes de taille égale selon leur consommation de produits bio.

L'une des difficultés d'une telle étude est que ceux qui mangent des produits bio ont souvent des comportements plus sains, sont plus éduqués, fument moins et ont en moyenne un régime alimentaire plus équilibré que les autres. Lors de nos analyses, nous avons pris en compte ces facteurs dits de confusion, qui tendent à brouiller les résultats. Pour ce faire, nous avons utilisé des modèles statistiques spécifiques qui réduisent au maximum

tous ces biais, par divers ajustements. Nous avons ainsi comparé les risques d'apparition de cancers chez les petits consommateurs de bio et les gros, toutes choses étant égales par ailleurs.

Quels sont vos résultats ?

Nous avons constaté que les individus déclarant consommer le plus souvent des aliments bio présentaient un risque inférieur de 25 % de développer un cancer par rapport aux non-consommateurs ou aux consommateurs épisodiques de produits bio. Cette association était particulièrement forte pour le cancer du sein postménopause, avec une réduction du risque de 34 %, et le lymphome non hodgkinien, avec une réduction de 75 %.

Que peut-on en conclure ?

Nous avons envisagé plusieurs hypothèses pour expliquer ces résultats. La principale résiderait dans le fait que les produits bio présentent bien moins de résidus de pesticides de synthèse que leurs homologues de l'agriculture classique. Bien que divers indices soutiennent cette piste, nous ne démontrons pas ce lien dans notre étude.

Il est important de souligner que celle-ci est observationnelle et que, malgré ces premiers résultats importants, il faut être prudent quant à leurs interprétations et leurs implications. Nous n'avons pas démontré un lien de cause à effet, mais seulement constaté une association entre consommation d'aliments bio et un risque réduit de cancer. En outre, il n'existe que deux études sur le sujet, en comptant la nôtre, ce qui est très peu. D'autres travaux épidémiologiques réalisés sur d'autres populations sont nécessaires. C'est sur la base de la convergence des résultats d'études observationnelles couplées à des approches expérimentales qu'il sera possible de tendre vers la causalité et d'émettre des recommandations.

J. Baudry et al., *JAMA Internal Medicine*, en ligne le 22 octobre 2018